

СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ Мо ПЛЕНОК ТЫЛЬНОГО КОНТАКТА СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

¹Туровец А.И., ²Бобрович О.Г., ³Гременок В.Ф., ¹Ташлыков И.С.

¹Белорусский государственный педагогический университет,
220030, г. Минск, ул. Советская 18, 226-48-06, tashl@unibel.by

²Белорусский государственный технологический университет,
220006, г. Минск, ул. Свердлова 13-а

³НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, 220072, г. Минск, ул. П. Бровки 19

Наиболее общепринятая конструкция солнечных элементов (СЭ) включает: 1) подложка; 2) тыльный контакт; 3) поглощающий слой; 4) буферный слой; 5) лицевой контакт; 6) антиотражающее покрытие. Лучшие СЭ получаются на подложках из натрийсодержащего стекла, боросиликатного стекла и Al_2O_3 -подложках [1]. С другой стороны, стекло идеально подходит как подложка для изготовления лабораторных образцов [2]. В качестве тыльного контакта применяются различные материалы [3]. Выбор молибдена в этом качестве основан на следующих критериях: хорошая адгезия к поглощающему слою; возможность омического контакта с поглощающим слоем р-типа проводимости; низкое удельное сопротивление; температура плавления достаточно высокая, чтобы избежать смешивания с поглотителем в периоды термической обработки; химическая устойчивость к наносимым веществам. Мо пленка создает центры роста зерен поглощающего слоя [4].

В работе изучаются Мо пленки в качестве тыльного контакта тонкопленочных солнечных элементов на стеклянной подложке, наносимой методом осаждения пленки при ассистировании собственными ионами (ОПАСИ). Целью работы являлось исследовать стадии процесса роста пленки тыльного контакта на стекле при различных дозах облучения ассистирующими ионами до развития сплошной пленки, а так же влияние дозы ассистирующего облучения на топографию и смачиваемость водой поверхности тонких пленок Мо.

Экспериментальные условия

Тонкие пленки Мо наносились на стекло методом ОПАСИ [6] с использованием резонансного ионного источника вакуумной электродуговой плазмы. Ускоряющий потенциал на катоде для ассистирующих ионов Mo^+ был 10 кВ, облучение прекращалось при достижении интегральных потоков ассистирующего облучения ионами Mo^+ $1,2 \cdot 10^{16}$, $3,2 \cdot 10^{16}$, $5,2 \cdot 10^{16}$, $8,1 \cdot 10^{16}$, $1,1 \cdot 10^{17}$ cm^{-2} .

Морфология поверхности систем изучалась, используя сканирующую зондовую микроскопию (атомно-силовой микроскоп NT-206, зонды CSC21). Данные о смачиваемости поверхности образцов получали, измеряя равновесный краевой угол смачивания (РКУС) на установке, представленной в [7]. В качестве смачивающей жидкости применялась дистиллированная вода (объем капли ~ 15 мкл).

Результаты и их обсуждение

Изображения топографии поверхности исходного стекла и стекла с нанесенным Мо покрытием приведены на рис. 1, а её характеристики представлены в таблице.

Как видно, используемые в работе режимы позволяют изучить процесс роста пленки тыльного контакта солнечного элемента, наносимой на стекло методом ОПАСИ, до развития сплошной пленки (рис.1). Согласно данным качественного описания эволюции тонких пленок, синтезированных на аморфных и поликристаллических подложках [8], мы наблюдаем следующие этапы в процессе роста пленки: появление островков роста,

столкновение и слияние островков, развитие непрерывной структуры. Построив в программе SX гистограммы распределения высот и сечения 2D рисунков топографии на наиболее часто встречаемых высотах, мы находим, насколько сплошной является пленка и ее толщину.

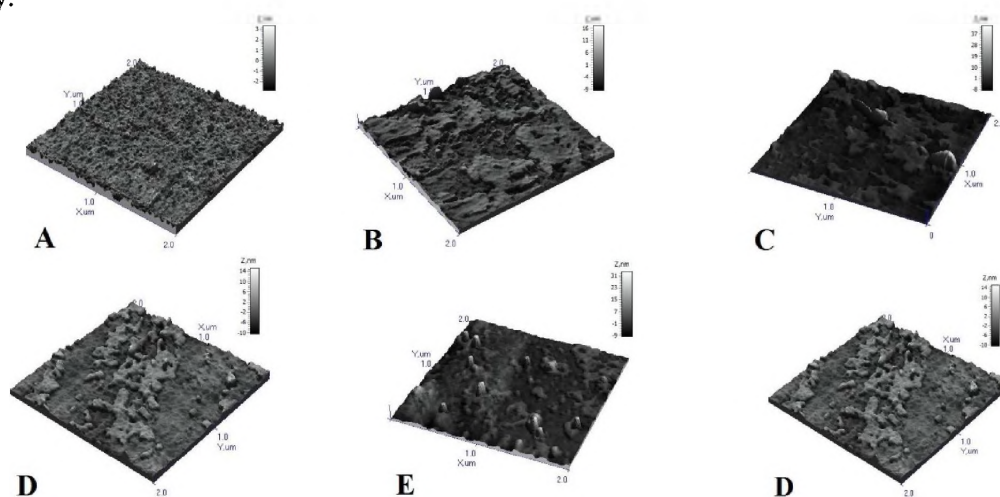


Рис. 1. 2-х и 3-х мерные изображения топографии поверхности пленок Mo, нанесенных на стекло при ионном ассистировании с интегральным потоком ионов Mo^+ $1,2 \cdot 10^{16}$ (B), $3,2 \cdot 10^{16}$ (C), $5,2 \cdot 10^{16}$ (D), $8,1 \cdot 10^{16}$ (E), $1,1 \cdot 10^{17}$ (F) cm^{-2} .

Таблица. Параметры морфологии и смачиваемости поверхности пленок.

Образец	Исх	1	2	3	4	5
Интегральный поток Mo^+ , $\cdot 10^{16} cm^{-2}$		1,2	3,2	5,2	8,1	11
Время модифицирования, мин		15	50	75	110	145
Средняя шероховатость, нм	2,20	1,78	1,97	2,71	2,33	2,30
% образования покрытия		56,9	33,6	34,5	48,1	96,5
Разность высот, нм		7,2	6,0	4,6	3,0	3,0
Краевой угол смачивания, °	25,1	62,8	67,4	69,7	60,8	56,7

Оценивая % образования пленки, наблюдаем снижение с 56,9% до 33,6% на начальном этапе формирования пленки. Это возможно лишь в случае, когда наблюдаемая разноуровневая поверхность на АСМ снимках отображается не поверхностью пленки и подложки, а только поверхностью пленки, осаждаемой неравномерно на начальном этапе формирования на различных участках поверхности. Это возможно только в случае, если на АСМ снимках мы видим не поверхность подложки (более низкий уровень), а поверхность ранее осажденной пленки. Об этом свидетельствует, в частности, снижение разности высот с 7,2 нм до 3 нм при увеличении интегрального потока и соответственно времени нанесения покрытия.

Зависимость R_a от величины интегрального потока имеет вид, схожий с ранее

полученными результатами исследования влияние облучения графита ионами Xe^+ на структуру, элементный состав, топографию поверхности образцов, их смачиваемость [9].

После нанесения пленки характер топографии поверхности заметно меняется. Рост шероховатости с увеличением интегрального потока обусловлен разностью высот пленки и подложки, а также многочисленностью островков зарождения пленки, достигая максимума в 2,71 нм при интегральном потоке ионов $5,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. При дальнейшем увеличении времени нанесения, а значит, увеличении интегрального потока ионов, площадь покрытия растет, заполняя всю поверхность стекла, что приводит к снижению шероховатости до 2,3 нм.

Измерения РКУС дистиллированной водой поверхности исходного стекла ($25,1^\circ$) и стекла с нанесенными пленками Мо, ($56,7^\circ - 67,4^\circ$) выявили значительное влияние молибдена и меньшее влияние интегрального потока на значение РКУС. Следовательно, нанесением Мо пленки на стекло с разными интегральными потоками можно управлять смачиваемостью его поверхности водой.



Рис. 2. Фотографии капель на поверхности образцов исходной стеклянной подложки (А) и подложек с нанесенными пленками Мо при ассистировании с интегральными потоками ионов Mo^+ $1,2 \cdot 10^{16}$ (В), $3,2 \cdot 10^{16}$ (С), $5,2 \cdot 10^{16}$ (D), $8,1 \cdot 10^{16}$ (Е), $1,1 \cdot 10^{17}$ (F) см^{-2} .

Заключение

В работе изучено влияния дозы облучения во время осаждения Мо на топографию и смачиваемость поверхности нанесенных тонких пленок.

Установлено значение порогового интегрального потока ($5,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$), при превышении которого снижается шероховатость поверхности наносимых пленок.

При выполнении измерений обнаружено, что нанесение Мо пленки приводит к снижению гидрофильности поверхности тыльного контакта. Нанесение на поверхность стекла Мо пленки в условиях ассистирования различными интегральными потоками ионов Mo^+ позволяет управлять смачиваемостью поверхности тыльного контакта водой.

Три фактора влияют на смачиваемость поверхности тыльного контакта: химический состав материала (осаждение Мо пленки), гетерогенность поверхности (% образования покрытия) и морфология поверхности (шероховатость поверхности).

- [1] Rau U., Schock H.W. // Series on Photo-conversion of Solar Energy. V. 1. (2001) P. 277.
- [2] Гременок В.Ф., Тиванов М.С., Залесский В.Б. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов. – Минск: БГУ. 2007. 221 с.
- [3] Matson R.J., Jamjoum O., Buonaquisti A.D. // Solar Cells. V. 11 (1984) P. 301.
- [4] Orgassa K., Schock H.W., Werner J.H. // Thin Solid Films, 2003. – V.431-432. – P. 387–391.
- [5] Tashlykov I.S., Kasperovich A.V., Wolf G. // Surf. Coat. Techn. V. 158–159 (2002) P. 498.
- [6] Ташлыков И.С., Белый И.М. Способ нанесения покрытий: пат. 1 С1 ВУ, МКИ С 23 С 4/12, С 4/18, С 14/16. / ; – №2324; Заявл. 30.03.1994; Зарег. 16.03.1998 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 1999. – №1. – С. 30.
- [7] Ташлыков И.С., Барайшук С.М. // Известия ВУЗов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. №1 (2008) С. 30.
- [8] Petrov I., Hultman L., Sundgren J.E. et al. // J. Vac. Sci. Technol. A21.5 (2003) P. 117.
- [9] Tashlykov I.S., Turavets A.I., Zukowski P. // Acta Physica Polonica A. №1 (2011) P. 115.